

# 高速公路路基施工中软土处理技术研究

文 / 宋锡勇 济南市齐大勘察设计有限公司

李培杰 山东高速工程建设集团有限公司

**摘要：**高速公路作为国家交通干线，其路基工程质量事关整个工程的安全性和耐久性。软土路基含水量高、渗透性差、强度和承载力低等特性，给路基施工带来严重困难，极易引发不均匀沉降、路基失稳等问题，危及工程质量和安全。合理处理软土路基，采取针对性地加固措施，对确保高速公路工程质量和持续运营至关重要。本文以某高速公路软土路基施工为切入点，分析了软土路基的主要特征、对工程的危害及常见处理技术，并结合工程案例提出了软土路基处理的技术要点，旨在为高速公路软土路基处理提供理论指导和技术借鉴。

**关键词：**高速公路；路基施工；软土处理技术；技术要点

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2025.09.057

## 引言

随着我国经济社会的快速发展，高速公路建设步伐不断加快，高速公路网络日趋完善。高速公路作为国家交通干线，对于促进区域经济一体化、加快资源合理配置、改善人民生活水平等具有重要意义。与此同时，高速公路路基工程作为整个工程的基础部分，其施工质量直接关系到路面的平整性、路基的稳定性和整个工程的耐久性，是保证工程质量、延长使用寿命的关键所在。然而，我国幅员辽阔，地质条件复杂多变，在高速公路路基施工中常常会遇到软土分布，如何有效处理软土路基成为摆在施工单位面前的一大挑战。软土路基含水量高、渗透性差、承载力低等特性，极易导致路基不均匀沉降、稳定性差、路面病害等一系列问题，从而影响工程质量和使用性能。研究针对性的软土路基处理技术，对于确保高速公路路基工程施工质量、提高工程整体效益具有重要意义。

### 一、软土路基基本特征

#### （一）高含水量

由于黏土矿物颗粒呈极细小的片状或纤维状，比表面积大，加之有机质为多孔状结构，因而能吸附大量水分子，导致整个土体含水量很高。一般而言，正常土的含水量在25%左右，而软土路基的含水量通常在35%至65%之间，部分地区甚至可高达80%以上<sup>[1]</sup>。如此高的含水量会导致软土路基强度和承载力低下，流动变形性增强，在外荷载作用下极易产生不均匀沉降等问题。同时，高含水量也会延长软土固结时间，影响施工进度。

#### （二）低渗透性

软土主要由黏性土和有机质组成，黏性土颗粒间孔隙很小。而有机质则具有多孔结构，但这些孔隙又被水分子充满或部分封闭。这种特殊的结构，使得软土中的水分子难以流动，从而导致整个土体渗透性能较差。普通土壤的渗透系数通常介于 $10^{-5}$ 到 $10^{-9}$ cm/s之间，而软土的渗透系数则明显更低，一般在 $10^{-7}$ 到 $10^{-10}$ cm/s

的数量级，某些区域甚至低于 $10^{-10}$ cm/s。如此低的渗透性不利于路基内部水分的排泄，会延长固结时间，影响施工进度；同时也不利于地下水的顺利渗流，可能导致路基积水、涌水等问题的发生。

#### （三）低强度和承载力

土体的强度和承载力主要取决于其密实程度、颗粒间作用力和结构。软土由于含有大量的水分和有机质，使其结构松散多孔，颗粒间缺乏有效的摩擦作用和粘聚力，因此土体整体的抗剪强度和压缩强度都较低。另外，软土的矿物组成以黏土矿物为主，而黏土矿物本身就具有较低的强度。从数值来看，正常黏土的抗剪强度一般在50~200kPa，而软黏土则往往低于25kPa；良好土壤的压缩强度可达数百到上千kPa，而软土的压缩强度通常只有几十到上百kPa。此外，软土的高含水量还会显著降低其承载能力<sup>[2]</sup>。通常情况下，每增加1%的含水量，软土的承载能力将减小2%左右。

### 二、软土路基对路基工程的危害

#### （一）不均匀沉降

软土路基的不均匀沉降对路基工程的危害极大。由于软土压缩性高且固结缓慢，在荷载作用下，不同区域的沉降量差异显著，这会导致路基表面出现纵向和横向的不均匀变形。这种变形会造成路面开裂、断裂，桥头跳车等问题，严重影响行车舒适性和安全性。此外，不均匀沉降还会对路基内部的土体结构造成破坏，降低路基的整体强度和稳定性。

#### （二）路基稳定性差

软土的低强度和高压缩性导致路基稳定性差，极易在外部荷载或环境因素的影响下发生变形破坏。例如，在暴雨或洪水等情况下，软土路基容易发生边坡滑塌、路基沉陷等事故，对交通安全构成严重威胁。此外，软土的抗剪强度低，在地震等自然灾害作用下，路基更容易发生失稳破坏，造成巨大的经济损失。

(三) 路面病害

软土路基的变形和沉降会导致路面出现各种病害，影响道路的使用寿命和行车质量。常见的路面病害包括裂缝、车辙、唧泥等。路面裂缝是由于路基不均匀沉降引起的拉应力超过路面材料的抗拉强度。车辙是由于路基的塑性变形导致路面出现永久性变形。唧泥是由于路基的孔隙水压力过高，导致细颗粒土体和水一起被挤压到路面表面。这些病害不仅影响道路的美观，还会降低行车舒适性和安全性，增加道路的养护成本。

三、高速公路路基施工软土路基处理技术

(一) 换填处理技术

换填法处理是将软土开挖并换填良好的天然或人工合成材料，从而提高路基强度和承载力。在实际施工中，需要先根据勘察报告确定需换填的范围和深度。一般来说，换填深度应超过最大预计沉降量的1.5倍。换填材料通常选用砂砾石、粉砾石、砂砾或石渣等级配良好、排水性能优异的材料。在换填作业前，需先对软土进行开挖，挖深按设计控制，宜采用分层卸顶作业，避免扰动底层土体<sup>[3]</sup>。换填材料宜分层摊铺并分层压实，每层压实系数不低于0.95，干扰系数不大于3%。压实作业可采用平板振动压路机、重力式压实机或液压打夯机等。当路基宽度较窄时，亦可采用人工夯实。压实至设计高程后，换填体的顶面应呈一定横向圆顶形，中心线处高出路肩约20cm，以利于雨季地表水的顺利排出。换填作业还需注意控制层内含水量，避免过湿或干燥。一般砂砾石、碎石材料的含水量控制在4%~6%为宜。换填土体压实完成后，其承载力可达2000kPa以上，能够满足路基施工需求。

(二) 排水固结技术

排水法是通过设置排水系统，促进路基内部水分的排出，从而加快固结沉降的进程，提高土体的强度和承载力。在实际操作中，常采用垂直排水和水平排水相结合的方式。垂直排水是利用人工植入的塑料排水板或预制排水孔，形成快速排水通道。水平排水则是在路基底部和边坡处布设透水性良好的碎石或砂层。根据设计要求，一般垂直排水板的间距为1~2米，边坡处水平排水带宽度不小于3米。施工时，先在路基底面进行整平夯实，然后依次布设水平碎石排水层、垂直排水板和压重荷载。压重荷载的高度通常为2~4米，充分发挥排水固结作用<sup>[4]</sup>。压载时可采取人工分层铺装或机械碾压的方法，使压重荷载合理分布。同步还需采取测沉措施，观测沉降和含水量的变化情况。待路基达到设计控制值后，即可拆除压重荷载和部分排水设施，开始路基回填和压实作业。在回填过程中，仍需保留部分排水渠道，以利于后续路基的渗排水工作。

(三) 加筋处理技术

加筋处理技术是通过在软土路基中植入人工材料，形成一种复合土结构，从而提高路基的抗剪强度、稳定性和承载能力。该技术操作相对简单，加筋材料也易于取得，因此被广泛应用。常见的加筋材料包括土工格栅、土工织物、塑料排水板、钢塑土钉等。其中土工格栅是应用最为广泛的一种，通常采用高强度的聚酯或聚丙烯材质。格栅的尺寸设计需根据具体工程要求，典型规格如格栅宽度4060cm、长度1020m、拉伸强度200~800kN/m。施工时，先对路基面进行平整，然后按设计间距铺设格栅层，并用软土分层回填压实。每层土厚度控制在2030cm，压实系数不低于0.95。格栅层间距由路基承载力要求确定，一般控制在4080cm。第一层格栅埋深通常为0.3~0.5m，以增强抗剪作用。下层格栅的埋深可根据计算确定，最大不超过1.2m。在边坡等需要的路段，宜延长格栅并固定于边坡坡面，以提高整体稳定性。除了格栅加筋，在特殊路段还可采用其他加筋材料，如塑料排水板加固可改善路基排水状况，钢塑土钉能够有效控制边坡稳定。

(四) 抛石挤淤技术

抛石挤淤技术主要适用于厚度较大的饱和状态软粘土路基。该技术的基本原理是在软土层内部填筑片石，再利用较小粒径的石子对片石进行压实，通过重力作用使片石下沉并将软土向两侧挤出，从而提高路基区域的承载力。施工时，首先需要对软土层进行清理，将表层杂物清除干净。然后按设计要求进行片石抛填，并保证片石尺寸基本一致，满足设计规范。一般而言，软土层流动性较强时，片石粒径应控制在30~50cm；反之则可适当增大片石尺寸，但最大不得超过80cm<sup>[5]</sup>。紧接着对路基表面进行塞实作业，一般采用直径5~10cm的石子碴来回铺压，直至满足设计压实度要求。为避免压实过程中破坏已压实的下层，施工时应分层进行，每层压实厚度控制在50~80cm。完成后覆盖一层粒径较小的反滤层，以防止下部料流失。表1列出了不同软土饱和程度情况下，抛石挤淤法施工的相关技术参数要求。

表1 抛石挤淤法施工技术参数

软土特征	片石粒径 (cm)	塞实料粒径 (cm)	压实厚度 (cm)
流动性较强	30 ~ 50	5 ~ 10	50 ~ 60
流动性一般	50 ~ 70	10 ~ 15	60 ~ 70
流动性较弱	60 ~ 80	15 ~ 20	70 ~ 80

### (五) 沙垫层处理技术

沙垫层处理是在软土路基表面铺设一层透水性良好的砂层,利用自重压实作用使软土夯实固结,从而提高路基承载力。施工时先对软土表面进行平整,清理浮土和杂物。然后在平整的基面上铺设级配良好的中砂垫层,垫层厚度一般控制在30~50cm。为防止砂层与软土层相互夹挤,在砂层下方需铺设一层隔离层,常用材料有无纺土工布或塑料薄膜等。随后分层铺筑填料至设计高度,填料级配应满足设计要求,且无大块石块。铺筑时需控制松铺厚度和含水率,并进行分层压实,直至达到设计压实度。施工参数如表2所示。

表2 不同软土层厚度的路基填筑施工参数

软土层厚度 (m)	砂垫层厚度 (cm)	填料最大粒径 (cm)	压实度 (%)	适用地基类型
<2	30	5	≥96	轻质粘土地基 淤泥质土地基
2~4	40	8	≥94	中等软土地基 含水量较高的粘土
4~6	50	10	≥92	深厚软土地基 有机质含量高的土层

### 四、工程实例分析

为验证前述软土处理技术的实际应用效果,本文选取三个不同高速公路建设项目的软土路基处理案例进行分析,分别采用了换填法、排水固结法和加筋法。通过对这些案例的深入研究,可以比较不同处理方法的适用性及优缺点。

1) 某沿海高速公路项目 K12+200 ~ K12+800 段地基土质为淤泥质黏土,厚度 2 ~ 4m。该路段采用换填法进行处理,挖除淤泥质黏土后,回填碎石。碎石粒径要求为 5 ~ 30cm,压实度不小于 95%。经检测,换填后路基承载力达到设计要求,沉降量控制在合理范围内。此案例表明,对于浅层软土,换填法是一种经济有效的处理方式,施工便捷,效果显著。然而,换填法需要大量的填料,弃土处理也是一个需要考虑的因素。

2) 某山区高速公路项目 K25+500 ~ K26+200 段存在厚度达 8m 的淤泥质土层。由于软土层较厚,不宜采用换填法。项目团队最终选择采用塑料排水板联合堆载预压进行处理。塑料排水板规格为 100mm×4mm,间距 1.2m,呈三角形布置。堆载高度为 6m,预压时间为 90 天。监测数据显示,预压期间沉降速率逐渐减小,最终达到稳定状态。地基承载力显著提高,满足设计要求。此案例说明,对于较厚软土层,排水固结法能够有效加速软土固结,提高地基承载力。但工期较长,需要进行严密的沉降观测。

3) 某平原高速公路项目 K38+000 ~ K38+500 段地基土为粉质黏土,含水量较高,强度较低。为提高路基稳定性,该路段采用土工格栅加筋法进行处理。土工格栅采用双向拉伸塑料土工格栅,抗拉强度不小于 50kN/m,网孔尺寸为 50mm×50mm。土工格栅铺设于路基填料中,每隔 0.5m 铺设一层,共铺设 4 层。施工完成后,路基承载力及稳定性均得到显著提升。该案例证明,加筋法可以有效增强软土地基的强度和稳定性,尤其适用于处理强度较低的软土。但加筋材料的质量和施工工艺对最终效果影响较大,需要严格控制。

通过以上三个工程实例的分析,可以看出,不同软土处理技术各有其适用范围和优缺点。选择合适的处理方法需综合考虑软土特性、工程条件以及经济因素。对于浅层软土,换填法经济有效;对于较厚软土层,排水固结法更为适用;而加筋法则适用于处理强度较低,需要提高整体稳定性的软土地基。在实际工程中,往往需要结合多种处理方法,才能达到最佳的处理效果。

### 结语

综上所述,软土路基处理是高速公路建设中一项至关重要的工程,对保障道路安全和使用寿命至关重要。有效的软土处理方案应建立在对软土特性、工程地质条件以及项目具体需求的全面分析之上。应根据具体情况选择合适的处理技术,并严格控制施工质量,才能最大限度地发挥处理效果。积极探索新技术、新材料,不断优化软土处理方案,对提高高速公路建设水平,推动交通基础设施高质量发展具有重要意义。通过科学合理的软土处理措施,可有效提高路基承载力、控制沉降变形,最终确保高速公路的长期稳定和安全运营。

### 参考文献

- [1] 王乾. 高速公路路基施工中软土处理技术研究[J]. 城市建设理论研究(电子版), 2025, (01): 160-162.
- [2] 魏明礼. 公路施工中软土路基的施工技术处理分析[J]. 居业, 2022, (01): 33-35.
- [3] 徐小林. 高速公路工程施工中软基处理关键技术[J]. 工程技术研究, 2021, 6(09): 77-78.
- [4] 张树全. 试述高速公路软路基的施工处理关键措施[J]. 工程建设与设计, 2020, (07): 231-232+235.
- [5] 王红辉. 关于公路路基施工中软土路基处理技术分析[J]. 价值工程, 2019, 38(25): 188-189.

作者简介: 李培杰(1991-), 男, 汉族, 山东省潍坊人, 本科毕业, 中级工程师, 就职于山东高速工程建设集团有限公司, 从事公路路桥设计、施工工作。宋锡勇(1991-), 男, 汉族, 山东省淄博人, 本科毕业, 中级工程师, 就职于济南市齐大勘察设计有限公司, 从事公路路桥设计、施工工作。